

L'amélioration des propriétés physiques du sol

À partir des contributions de J.L. Chopart (CIRAD) et R. Pirot (CIRAD)

L'implantation des cultures nécessite généralement des modifications de l'horizon superficiel du sol qui permettent la création d'un milieu propice à l'installation et au développement des racines des plantes.

Traditionnellement, les modifications de ce profil sont réalisées par le passage d'outils agricoles maniés par l'homme, tirés par des animaux ou entraînés par des tracteurs. Cependant, suite aux catastrophes écologiques provoquées par un travail du sol excessif réalisé par des engins motorisés durant les cinquante dernières années, le recours systématique au travail profond a parfois été abandonné au profit de méthodes associant travail minimum du sol et couverture végétale. Les agriculteurs ont pu ainsi stopper la dégradation de leurs sols et même les régénérer.

Un travail du sol minimum reste la plupart du temps nécessaire et le choix des opérations de préparation du sol est donc un élément essentiel de raisonnement de l'itinéraire technique.

LE RÔLE DES RACINES

Les racines jouent un rôle encore trop méconnu mais fondamental dans le fonctionnement et la production des cultures, ainsi que dans l'évolution du sol. Les éléments présentés ici complètent ceux du chapitre consacré au fonctionnement du peuplement végétal cultivé.

● *Principales fonctions du système racinaire*

L'ancrage dans le sol

La plante est ancrée dans le sol par ses racines. Elles lui permettent de maintenir sa position dans l'espace malgré les forces liées au vent, à la pluie, etc.

L'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs

Les racines permettent à la plante de s'approvisionner en eau et en éléments minéraux. Le processus majeur de déplacement du phosphore et du potassium dans le sol est la diffusion dans la phase liquide du sol sur de faibles distances. Le volume de sol approvisionnant la plante dépend de la mobilité de l'élément considéré mais aussi de l'état hydrique du sol et de la quantité de racines présentes dans le sol.

La racine accède également à l'eau grâce à sa diffusion dans le sol sur une distance limitée de quelques centimètres. Même si le sol est bien pourvu en eau, cette eau ne sera pas utile à la plante s'il n'y a pas, à proximité, une racine pour l'intercepter.

L'enracinement de la plante dimensionne le volume de sol utile pour sa croissance et son développement.

L'enrichissement du sol en matières organiques

Après la récolte, la biomasse qui reste dans le sol est variable d'une espèce à l'autre mais peut atteindre environ 1 t/ha pour des espèces comme le riz ou le sorgho et même dépasser les 3 t/ha pour la canne à sucre. Les valeurs réelles de biomasse racinaire produite peuvent être supérieures du fait d'une dégénérescence d'une partie du système racinaire avant la récolte. Cette matière organique laissée dans le sol est très intimement liée à celui-ci et localisée en partie à une profondeur supérieure à celle des enfouissements par voie mécanique.

La protection du sol

Les racines des plantes cultivées sont en contact étroit avec le sol, plus spécialement en surface. Elles forment un maillage qui protège le sol contre l'érosion.

Les autres fonctions des racines

Les racines influencent la géochimie du sol par les acides qu'elles libèrent, par les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère qu'elles facilitent et enfin par les remontées d'éléments de la profondeur vers la surface. Elles contribuent à la création d'une structure du sol favorable à la circulation des fluides et d'un environnement favorable aux activités biologiques.

● ***Les relations entre le sol, les racines, l'eau et la production***

● **La gestion du sol, son état physique et les systèmes racinaires**

Dans les conditions pédo-climatiques du Sénégal¹, il existe, entre 10 et 30 cm de profondeur, une relation entre l'état physique du sol et l'enracinement. L'état du sol produit par un labour en traction animale ou motorisée a un effet favorable sur la densité racinaire des cultures pluviales, aussi bien dans l'horizon travaillé qu'en dessous. En revanche, l'effet sur le front racinaire fluctue en fonction de l'espèce : il est nul sur le mil, assez faible sur l'arachide et le sorgho et nettement plus marqué sur le riz.

● **Les racines et l'eau**

Les études au champ sur la dynamique racinaire des cultures annuelles tropicales, couplées à des mesures de profils hydriques, ont débouché sur la mise en évidence de relations entre la densité racinaire et l'alimentation hydrique dans les milieux tropicaux semi-arides.

Ainsi, dans des essais au Sénégal comparant des itinéraires techniques avec labour ou en travail superficiel, on a observé qu'un enracinement plus important sur sol labouré permet une utilisation plus complète par la culture des réserves hydriques des couches profondes du sol, entraînant un meilleur comportement, en période sèche des cultures de riz pluvial, de sorgho et de mil.

Une étude a montré que seule une partie du système racinaire du riz est nécessaire à l'alimentation hydrique de la culture si celle-ci est suffisamment bien approvisionnée.

¹ Sols très faiblement structurés.

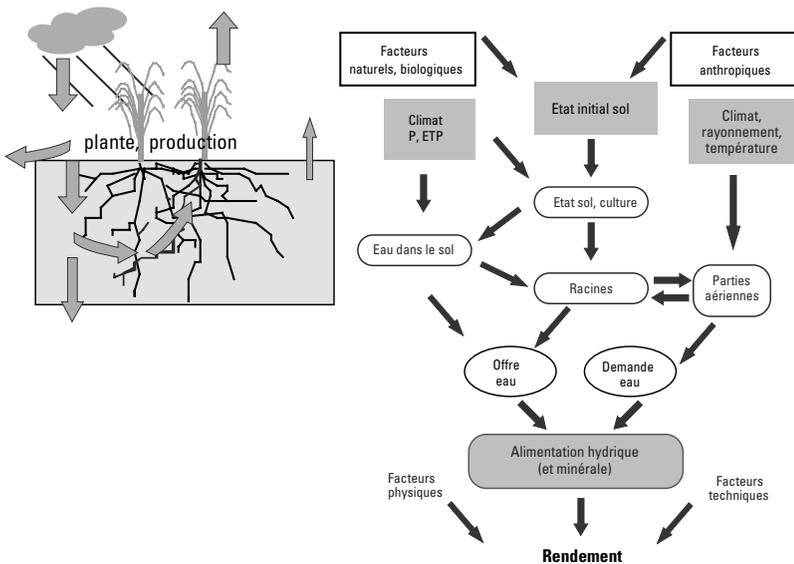
Mais, en dessous d'une certaine quantité de racines, la plante entre en stress hydrique, même en cas d'apport régulier dans le sol. En cas d'assèchement des couches superficielles, la partie profonde du système racinaire peut assurer seule l'alimentation hydrique, à condition que la quantité de racines soit suffisante dans la couche maintenue humide, de l'ordre de 50 % de la biomasse totale.

Ceci confirme le rôle fondamental des racines profondes dans l'alimentation hydrique des cultures de plein champ. Il faut donc tendre vers un système racinaire profond, avec une répartition homogène des racines.

● La gestion du sol, les racines, l'eau et la production

Si les relations entre mode de gestion du sol, racines et alimentation hydrique sont complexes, leurs conséquences sur la croissance et la production le sont encore plus.

Il a certes été possible, dans certaines conditions sèches, de relier la biomasse racinaire et le rendement utile de plusieurs cultures, mais ce n'est pas le cas général. Il n'y a, en effet, pas de relations causales directes entre la densité d'occupation du sol par les racines et le rendement. Par exemple, lorsqu'une culture à enracinement développé a épuisé les réserves hydriques, elle est tout autant stressée qu'une plante à enracinement moins développé. En revanche, un déficit hydrique modéré pourra avoir une incidence sur la production, variable en fonction du développement du système racinaire. Ces relations doivent donc être abordées en prenant en compte plusieurs facteurs.



► Figure 1 : Les relations entre l'état physique du sol et le fonctionnement hydrique du peuplement végétal

Commentaires de la figure 1 :

- > l'état physique du sol a une influence directe sur l'eau dans le sol (infiltration, stockage), sur l'enracinement, mais aussi, quoique de façon moins nette, sur les parties aériennes à travers la levée et les densités de peuplement ;
- > l'eau mise à la disposition de la plante ne dépend pas uniquement de facteurs physiques mais aussi des racines ;
- > l'alimentation hydrique résulte de la plus ou moins bonne adéquation entre une offre et une demande en eau. Toutes deux sont sous la dépendance indirecte de facteurs physiques et techniques variés qui peuvent augmenter à la fois l'offre et la demande ;
- > le rôle central des racines dans l'augmentation de l'offre du sol en eau apparaît clairement ;
- > l'enracinement dépend de l'état physique du sol mais aussi de son état hydrique et des parties aériennes ;
- > des effets *feed back* existent : des racines vers l'état physique du sol, entre racines et parties aériennes, de l'eau consommée vers l'offre et la demande.

Ce schéma peut s'appliquer à tous les facteurs de variation de l'état physique du profil cultural, qu'ils soient d'origine humaine ou naturels, liés au climat ou biologiques : vers de terre, termites, racines etc.

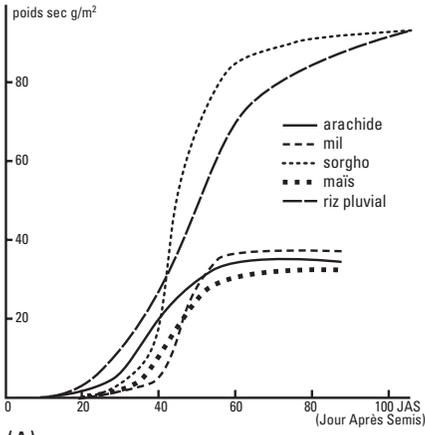
L'état physique du sol après la culture devient, en agriculture fixée, l'état initial du cycle cultural suivant. Pour réaliser l'objectif d'une agriculture durable, il faut que les facteurs abiotiques et anthropiques, même s'ils ont une action positive à l'échelle d'une année, ne conduisent pas à une dégradation à long terme de l'état du sol.

L'enracinement joue donc un rôle central dans le processus d'élaboration du rendement des plantes cultivées dans les environnements où le risque hydrique est élevé. C'est non seulement un élément de diagnostic cultural d'un état du sol mais aussi de pronostic de l'alimentation hydrique et du comportement du peuplement végétal.

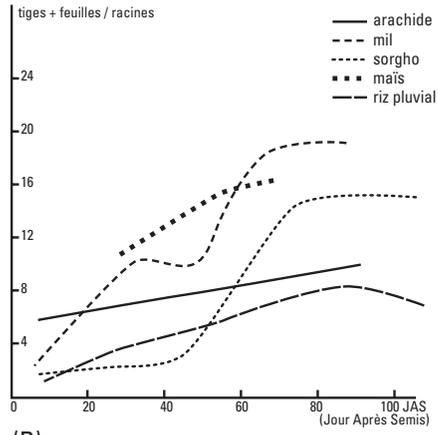
● **La dynamique des systèmes racinaires**

La connaissance même approximative des valeurs moyennes des principales caractéristiques des systèmes racinaires des cultures est un préalable indispensable à l'étude et à la modélisation du bilan hydrique, du fonctionnement de la plante, des relations entre l'état du sol et l'enracinement.

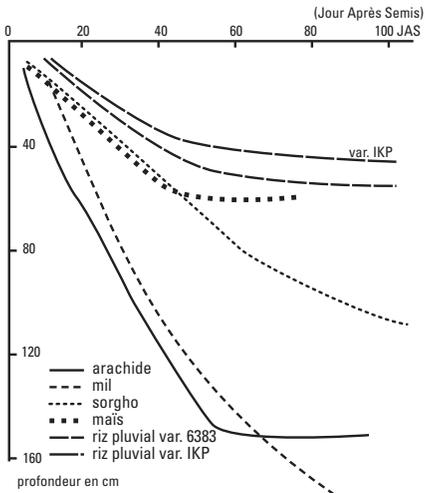
Les dynamiques racinaires de quelques cultures tropicales ont été étudiées dans des sols représentatifs de leur aire principale de culture en Afrique, en vérifiant l'absence d'obstacle à la croissance du front racinaire. Les itinéraires techniques pratiqués étaient ceux habituellement proposés au développement. Malgré ces précautions, il ne s'agit que d'études de cas. Les valeurs présentées sont amenées à fluctuer largement en fonction de facteurs génétiques et édaphiques locaux.



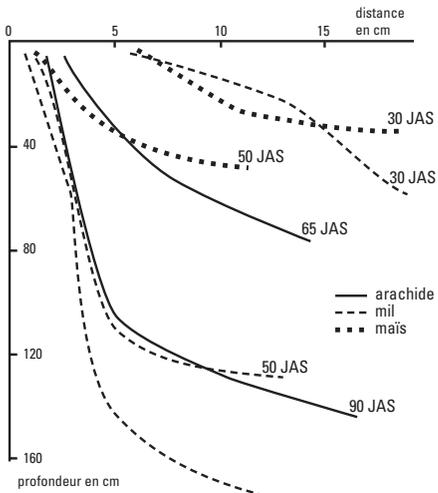
(A) Poids sec total des racines g/m²



(B) Rapport tiges + feuilles / racines



(C) Front racinaire (cm)



(D) Profil de distances moyennes entre les racines

► **Figure 2 : Dynamique des systèmes racinaires de quelques cultures : arachide, mil, sorgho et riz pluvial au Sénégal ; maïs en Côte d'Ivoire. Extrait de Chopart (1999).**

Systèmes racinaires de quelques cultures (cf. figure 2)

Sorgho (*Sorghum vulgare*)

La progression du front racinaire du sorgho (variété 6318 à cycle de 110 jours) est presque linéaire jusqu'à la récolte. Il atteint alors environ 1 m. Les biomasses aériennes et racinaires restent faibles jusqu'au tallage. La croissance de la plante, spécialement celle des racines, est ensuite très rapide. La biomasse racinaire passe de moins de 5 g/m² à 30 JAS (jours après semis) à près de 75 g/m² à 50 JAS (fin montaison). L'augmentation du poids sec se poursuit jusqu'à la fin de la floraison pour atteindre 90g/m².

Riz pluvial (*Oryza sativa*)

Les trois variétés de riz pluvial étudiées ont des cycles de longueur comparable : 110 jours (IKP) ou 120 jours (63 83, Iguape Cateto). Elles ont des systèmes racinaires ne dépassant pas 60 cm en fin de cycle pour la variété la plus performante et 50 cm pour les autres. La biomasse racinaire est nettement plus grande que celle du sorgho, du mil et du maïs en début de cycle jusqu'à 35 JAS, en relation avec la densité de pieds par m². On a, en fin de cycle, une production de racines de riz d'environ 90 g/m² en bonnes conditions de culture, comme pour le sorgho. Mais le rapport massique parties aériennes/racines est donc nettement plus grand dans le cas du sorgho.

Mil (*Pennisetum typhoides*)

La croissance racinaire du mil (var. souna III, cycle court : 90 jours) est très rapide entre la fin du tallage (30 JAS) et l'épiaison (50 JAS), ce qui correspond également à une très forte augmentation de la biomasse des parties aériennes. Entre ces deux stades, la longueur totale du système racinaire passe de 50 à 1 500 m/m². À la récolte (90 JAS), la longueur totale a encore doublé : 3 000 m/m² pour un poids d'environ 35 g/m².

La progression du front racinaire est d'environ 2 cm par jour jusqu'au début du tallage puis elle devient très rapide (3,5 cm par jour) jusqu'au début de l'épiaison (50 jours). Le front racinaire atteint 2 m en fin de cycle. Pour une culture de mil semée en poquets (1 poquet par m²), les racines peuvent aller dans le sens horizontal jusqu'à plus de 3 m du pied. Le volume total de sol exploré par le système racinaire d'un pied de mil est donc, en moins de deux mois, d'environ 25 m³. Cette aptitude remarquable à occuper rapidement un très grand volume de sol contribue à expliquer l'adaptabilité du mil à des environnements pauvres en eau et en nutriments.

Arachide (*Arachis hypogea*)

La progression du pivot de l'arachide est de 2,7 cm par jour jusqu'à la fin de la floraison, vers 50 JAS pour des variétés à cycle de 100 jours. Le front racinaire se stabilise alors à environ 1,5 m, ce qui est élevé pour une culture dont la hauteur aérienne est de l'ordre de 20 à 30 cm. La longueur totale du système racinaire croît suivant une courbe en S pour atteindre un palier d'environ 1 700 m/m² vers 65 JAS. Le poids total des racines est alors d'environ 35 g/m².

Maïs tropical à cycle court (*Zea mays*)

Dans les conditions de milieu de la zone centre de Côte d'Ivoire et avec une variété à cycle très court (85 jours) cultivée dans la région, l'enracinement du maïs a un développement limité, même sans contrainte particulière. Si la croissance de la biomasse des racines est assez comparable à celles du mil et de l'arachide, la longueur totale des racines est plus faible, de l'ordre de 800 m/m² à son plus fort développement à la fin de la floraison. La profondeur atteinte par les racines est alors seulement d'environ 60 cm.

Canne à sucre (*Saccharum officinarum*)

La progression du front racinaire d'une canne vierge en Côte d'Ivoire est d'environ 0,9 cm/jour pour la période comprise entre la levée et 150 jours après, le poids moyen est de 20 g/m², 35 jours après la levée pour une longueur totale de 500 m/m². À la fin du premier tiers du cycle (100 jours après levée), le poids total est 200 g/m² pour une longueur totale de 4 000 m/m².

LE PROFIL CULTURAL

La mesure de la longueur et de la biomasse racinaire restent des outils de chercheurs. Pour apprécier l'état du système racinaire et l'effet des outils utilisés par l'agriculteur, on utilise une méthode facile à mettre en œuvre et accessible à tous, techniciens comme agriculteurs, celle du *profil cultural*², qui constitue un véritable outil de diagnostic rapide de terrain. Toutefois, cette méthode ne produit pas ou difficilement de données quantitatives.

Cette méthode, utilisée aux moments opportuns en cours de culture, permet de se rendre compte de l'état physique du sol et d'orienter ou de modifier les actions culturales.

Pour réaliser un profil cultural, on dégage un profil de sol perpendiculairement au travail du sol principal et aux lignes de semis. Le but est de mettre en évidence les caractéristiques des diverses couches constituant le terrain, d'examiner la façon dont elles sont exploitées par les racines et d'évaluer dans la mesure du possible les causes de leur différenciation. Le profil cultural est défini comme l'ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions³.

Les sols : rappels⁴

La texture

La texture est une notion basée sur la composition granulométrique : argile, limons et sables. Sur le terrain, on peut, avec de l'expérience, l'apprécier au toucher. La texture influe sur les propriétés du sol et sa connaissance permet de définir des tendances :

- les sols sableux sont filtrants ;
- les sols où sont associés beaucoup d'éléments fins aux sables ont tendance à se colmater, rendant le sol imperméable et battant ;
- ceux où sont associées suffisamment d'argiles aux autres éléments permettent une structuration qui donne souvent une bonne perméabilité.

On définit ainsi :

- des sols argileux avec plus de 40 % d'argile, ils ont une grande aptitude à la fissuration ;
- entre 25 et 40 % d'argile, on trouve des argiles sableuses et des argiles limoneuses ou de sols sablo-argileux et limono-argileux avec un taux d'argile plus faible. Leur aptitude à la fissuration est moindre ;
- les sols qui contiennent plus de 45 % de limons, limons légers et limons sablo-argileux sont caractérisés par leur faible stabilité structurale ;
- les sols avec plus de 65 % de sables sont appelés sols sableux. Leur principal défaut est l'insuffisance de rétention d'eau.

² Hénin et al., 1969.

³ On différencie le profil pédologique qui décrit le sol modelé par le climat et la végétation naturelle s'exerçant sur la roche mère et le profil cultural qui cherche à mettre en évidence dans un sol cultivé, remanié par l'homme, les effets des techniques culturales et le comportement des racines des cultures.

⁴ Cf. chapitre 413.

La structure

Les éléments texturaux sont assemblés entre eux. Les agrégats ainsi formés sont plus ou moins fragiles. On définit la structure par le mode d'assemblage des constituants du sol à un moment donné. C'est donc un état qui peut évoluer dans le temps sous l'effet de facteurs externes divers. Les formes de structure sont très variées. On a essayé cependant de simplifier l'observation en définissant la taille et la forme des éléments structuraux.

La *taille* est dite petite pour des dimensions de l'ordre du millimètre, moyenne pour des dimensions de l'ordre du centimètre et de grande taille pour celle de l'ordre du décimètre.

Pour la forme, deux groupes sont ainsi définis :

- les structures continues, particulières (les constituants solides sont entassés sans liaison et le sol est sans cohérence) ou massives (le sol forme un bloc unique) ;
- les structures fragmentaires, qui constituent le plus fréquemment les sols cultivés. Les constituants, assemblés en agrégats, sont groupés en éléments structuraux d'aspect anguleux ou sphérique, qui se détachent facilement les uns des autres.

Parmi toutes ces formes, c'est la structure fragmentaire à agrégats arrondis, aussi appelée structure grumeleuse, qui est la plus favorable. Cette structure a en effet l'avantage de faciliter la circulation de l'eau, d'assurer une bonne aération, de faciliter le travail du sol et de permettre une bonne installation et un bon développement des cultures.

La *structure* est un état plus ou moins fragile. Le degré de fragilité se mesure par la stabilité structurale qu'on peut définir par la solidité de l'état structural, c'est-à-dire sa résistance aux agents de dégradation : impact des gouttes d'eau, excès d'eau, tassement en période humide, effet de choc des outils en sol sec. Les matières organiques, les hydroxydes, les cations bi ou trivalents sur le complexe adsorbant (Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++}) consolident les agrégats.

L'amélioration des propriétés physiques du sol facilite l'implantation de la culture et son bon développement. La texture et l'humidité influent sur la facilité à travailler le sol. Elles agissent sur deux propriétés qui sont la cohésion et l'adhésivité :

- la *cohésion* correspond à la capacité qu'ont les particules de rester associées les unes aux autres. Elle est généralement fonction de la teneur en argile ;
- l'*adhésivité* est l'aptitude que présente la terre de coller aux pièces travaillantes. Elle augmente avec le taux d'humidité dans des conditions normales de travail (en excès d'eau, la terre est moins collante mais les conditions de travail sont alors anormales).

● Les objectifs de l'étude du profil cultural

L'étude du profil cultural a de nombreux intérêts.

● Un outil d'évaluation des potentialités agronomiques

On cherche dans ce cas à repérer les principaux problèmes agronomiques dépendant essentiellement des caractères propres au milieu peu ou pas dépendants des actions culturales. Ces problèmes sont liés, par exemple, à une charge élevée en éléments grossiers, à la présence d'horizons compactés ou indurés, à l'hydromorphie, à des accumulations minérales ou organiques etc.

Cette évaluation passe par l'analyse du profil⁵ (cf. chapitre 413) et l'étude de la densité, de la profondeur et de l'aspect de l'enracinement des cultures précédentes ou en place. On peut, à cette occasion, déterminer le volume de terre potentiellement colonisable par les racines et estimer la réserve utile et la profondeur à prendre en compte pour le calcul des bilans minéraux.

⁵ En se limitant toutefois aux horizons explorés par le système racinaire et à l'horizon situé juste en dessous.

● Un outil de pronostic des effets des outils

Il permet la décision et le conseil. Dans ce cas, on cherche à évaluer les effets observables ou prévisibles des actions culturelles sur l'état des couches superficielles et donc sur le développement de la culture. Une évaluation correcte du comportement du sol et de l'évolution de l'état structural sous l'action du climat, combinée avec une bonne connaissance de l'action des outils utilisables et du comportement du peuplement végétal, permet de choisir un itinéraire de préparation du sol et d'intervention en cours de culture. Des observations plus succinctes en cours de culture permettent également de choisir un outil en fonction de l'état structural à un moment donné et du profil cultural qu'on souhaite obtenir. Par exemple, après un travail du sol, quel outil de reprise utiliser pour obtenir le profil désiré ? À quelle profondeur faut-il travailler ?

● Un outil de diagnostic des problèmes en cours ou en fin de culture

Il permet de répondre à une question précise du type : quel est le rôle joué par les caractéristiques structurales de l'horizon cultural dans un accident survenu en cours de culture : flétrissement des plants, chute des organes fructifères etc. ? L'observation de l'enracinement est un élément primordial dans ce type de diagnostic.

● L'interprétation des observations

Les observations sont réalisées à une date donnée, pour un état particulier du profil et éventuellement du peuplement végétal, à une étape déterminée de la réalisation des opérations culturelles. On observe un ensemble d'éléments qui permettent d'établir diagnostic et pronostic. L'interprétation met en jeu de nombreuses connaissances sur le fonctionnement du peuplement végétal, sur le comportement du sol sous l'action du climat et des outils et sur les différents outils de travail du sol.

De nombreux facteurs sont susceptibles de jouer un rôle sur la mise en place et le fonctionnement des racines et on ne peut les maîtriser tous. On privilégie ceux qui peuvent entraîner les effets les plus importants et ceux sur lesquels il est effectivement possible d'intervenir.

Il convient enfin de rappeler qu'un jugement sur les états observés ne peut être formulé qu'en référence à un objectif. Ainsi l'état dit *ouvert*⁶ ne doit pas apparaître comme systématiquement *optimal* : il peut dans certains cas provoquer une dessiccation rapide, un développement de ravageurs ou une sensibilité importante au compactage. Un état plus compact, à une teneur en eau qui rend le sol déformable au moment de l'implantation des racines, peut se révéler plus favorable dans certains cas.

● Un outil d'analyse pertinent

L'étude du profil cultural constitue à elle seule un outil d'analyse et de comparaison pertinent pour raisonner le travail du sol. Sur le terrain, le praticien n'a pas toujours le temps ou les moyens de réaliser ce type d'analyse de manière complète et sur de nombreuses parcelles. Cependant, des observations succinctes et incomplètes se révèlent souvent suffisantes pour améliorer le travail du sol et élaborer des itinéraires techniques adaptés.

6 Dominance de structure fragmentaire, sans mottes décimétriques ni cavités importantes et avec une abondance de terre fine.

Ainsi, malgré le développement des méthodes quantitatives d'évaluation de l'état des horizons culturaux⁷, l'observation au champ reste une étape simple, accessible et riche en enseignement qu'il faut pratiquer pour évaluer l'effet du passage d'un outil de travail du sol, l'enracinement d'une culture, la qualité d'un semis et donc relier une caractéristique mesurée ou observée aux techniques culturales précédemment utilisées.

LA TRANSFORMATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

Après la récolte, le profil cultural se trouve dans un état qu'il va falloir modifier pour pouvoir implanter la culture suivante. Pour atteindre ce but, on peut compter sur deux types de facteurs :

- > *les facteurs naturels* que l'on ne maîtrise généralement pas, même si quelquefois on peut les orienter. Ce sont *les facteurs climatiques* qui interviennent par humectation-dessiccation ou par l'action du gel et *les facteurs biologiques*, avec l'action des racines, de la faune et de la flore ;
- > *les facteurs mécaniques*, issus du travail du sol et qui complètent l'action des facteurs naturels.

● **L'évolution du profil cultural**

● **Les cycles d'humectation et de dessiccation**

C'est un facteur important lié aux phénomènes de gonflement et de retrait provoqués par les variations d'humidité. Ces phénomènes sont cependant très dépendants de la teneur du sol en argile et du type d'argile présent. Les sols sableux sont insensibles à ce phénomène, ainsi que certains sols limono-sableux ou même argilo-sableux.

● **L'action du gel**

Elle varie en fonction de l'état d'humidité du sol et de son état de division tant au moment du gel qu'au moment du dégel. Le gel n'améliore la structure des sols compacts que si un bon drainage et une structure en grosses mottes limitent les remontées d'eau lors du gel et assurent son écoulement rapide au dégel.

● **L'action des être vivants**

● **Les racines**

C'est le moyen le plus efficace d'améliorer la structure, au point que l'introduction de jachère est considérée comme l'une des meilleures sources d'amélioration de la fertilité du sol. Les racines ont deux modes d'action :

⁷ Densimétrie, humidité, analyses des systèmes de porosité, résistance mécanique, pénétrométrie...

- > les extrémités secrètent des substances qui sont capables soit de dissoudre soit d'hydrolyser les roches sur lesquelles elles sont implantées. Ces décompositions leur permettent de nourrir la plante. Elles laissent ensuite un résidu riche qui va participer à la formation du complexe argilo-humique ;
- > elles recyclent les éléments solubles entraînés par lessivage en les remontant dans les parties aériennes.

● **La faune**

Le sol est un milieu vivant, il contient de nombreuses espèces d'insectes, acariens, mollusques et crustacés. Quand les matières organiques sont en surface, trois types de faune se développent facilement :

- > la faune épigée qui vit dans la litière de surface ;
- > la faune endogée qui vit dans le sol en creusant des galeries horizontales ;
- > la faune anécique, correspondant aux gros vers de terre qui circulent entre la surface du sol et les couches profondes, participant ainsi à l'enfouissement de la matière organique.

● **La flore**

La flore peut avoir deux actions distinctes : décomposition de la matière organique et aide à l'absorption par les racines :

- > dans la zone superficielle la faune fragmente la matière organique et l'expose ainsi aux attaques de la flore de décomposition : champignons et actinomycètes ;
- > juste en dessous, dans la partie superficielle du sol, les bactéries de décomposition minéralisent le *mulch* issu de la zone superficielle ;
- > dans la terre, se développe la flore d'humification et la flore d'absorption localisée autour des radicelles (*rhizosphère*). Cette flore d'absorption permet, en association avec les radicelles, d'utiliser les substances nutritives provenant de la surface par lessivage et de minéraliser l'humus stable. Elle participe également à la décomposition des roches.

Les effets bénéfiques de l'action des êtres vivants s'observent à travers l'effet de granulation de la structure, résultat de leurs actions combinées.

● **L'action de l'homme par le travail du sol**

Le travail du sol complète les actions du climat, des micro-organismes et des racines des plantes. Il est donc plus ou moins important en fonction du type de sol et de son environnement.

Deux buts sont recherchés lors de la réalisation du travail du sol :

- > débarrasser la parcelle des mauvaises herbes, des parasites animaux ou végétaux, et des résidus gênants de la culture précédente ;
- > faciliter la mise en place et l'implantation des cultures en favorisant l'approvisionnement en eau, en augmentant la circulation de l'air dans le sol, en régulant la température et en réduisant les anomalies structurales : tassement, battance, lissage, etc. Il s'agit alors d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

Si la préparation du sol a pour objet principal de modifier sa structure, elle a également d'autres fonctions : incorporation de résidus végétaux, des engrais, etc. Il faut donc raisonner la préparation du sol en terme d'itinéraire technique.

● Les mécanismes et les effets du travail du sol

Le travail du sol peut en améliorer les propriétés physiques par :

- > l'exposition des mottes prises en masse aux alternances de dessiccation et d'humectation ;
- > la fissuration des structures massives, des semelles compactes et des croûtes, ce qui permet d'augmenter la porosité et favorise le développement des racines ;
- > le mélange des engrais chimiques et organiques au profil.

Il participe aussi à la régulation de la circulation de l'eau dans le sol en favorisant l'écoulement de l'eau en excès, en retenant l'eau de pluie et en limitant l'évaporation par réalisation d'une couche sèche en surface (*mulch*).

Pour parvenir à l'état souhaité, une série d'effets sont recherchés.

Tableau 1. Les principaux effets recherchés par le travail du sol

Effet	Définition
Eclatement	passage de l'état massif non fissuré à l'état massif fissuré
Ameublissement	passage de l'état massif à l'état massif fragmentaire
Enfouissement	mise sous terre des débris végétaux, engrais, etc.
Création d'un relief de surface	augmentation de la surface soumise aux effets du climat
Tri mottes-terre fine	mise en surface de mottes pour protéger le lit de semence de la battance
Rappuyage	réduction du volume des espaces libres entre les mottes
Mélange	répartition des débris végétaux, engrais, produits phytosanitaires
Effacement d'un relief de surface	nivellement du sol
Emiettement	réduction de la taille des mottes et formation de terre fine

En général plusieurs opérations culturales sont nécessaires pour passer de l'état de départ à l'état du semis. Chaque opération est caractérisée par des objectifs intermédiaires (effets recherchés) et correspond à un passage d'outil.

Des éléments sur les principales techniques de travail du sol en culture attelée sont également présentés dans le chapitre 438.

Tableau 2. Les principales opérations culturales et leurs effets recherchés

Opération culturale	Effet(s) recherché(s)
Décompactage	éclatement de la zone compactée sous le labour
Déchaumage	mise en contact des résidus de récolte avec le sol germination des graines de mauvaises herbes présentes dans les premiers centimètres émiettement de la couche superficielle avant labour
Labour	enfouissement des résidus de récolte destruction des adventices et de certains parasites ameublissement du profil
Pseudo-labour	ameublissement du profil
Travail localisé	ameublissement de la couche superficielle (10cm) enfouissement des résidus
Préparation du lit de semence	émiettement des premiers centimètres tri des mottes et de la terre fine pour protéger la surface de la battance
Roulage	rappuyage du sol pour assurer un meilleur contact entre graine et particules de terre

● Les effets nocifs du travail du sol

La disponibilité d'énergie facile à mettre en œuvre peut entraîner la réalisation de travaux du sol dans des conditions ou selon des modalités inappropriées et engendrer des détériorations importantes du profil, comme par exemple :

- > un retournement excessif du sol, remontant de la terre infertile de profondeur ;
- > un travail en sol humide, provoquant une compaction importante ;
- > un travail trop rapide, produisant beaucoup de terre fine.

D'une façon générale, le travail profond du sol ne doit pas être réalisé s'il n'est pas nécessaire. Il risque de bouleverser l'équilibre biologique du sol, facteur important d'amélioration de la structure. Il est donc essentiel de savoir observer le sol avant d'entreprendre une intervention culturale.

LES OUTILS DE TRAVAIL DU SOL

L'amélioration de la structure par le travail du sol est généralement réalisée par une succession d'opérations culturales, correspondant chacune à un passage d'outil. La gamme d'outils existant sur le marché est aujourd'hui très diversifiée et permet d'obtenir de nombreux effets.

● *Le mode d'action des outils*

Les outils de travail du sol agissent par plusieurs mécanismes physiques :

- > le fendillement se manifeste en avant des outils et caractérise tous les outils travaillant en sols massifs tels que décompacteur et chisel ;
- > le sectionnement est produit par des pièces travaillantes tranchantes : cultivateurs rotatifs, machines à bêcher, charrues, outils à disques ;

- > le cisaillement, produit par des pièces mobiles les unes par rapport aux autres, est très efficace pour émietter les mottes grosses ou dures avec des herse rotatives et alternatives ;
- > le choc des mottes entre elles, contre les pièces travaillantes ou les parties fixes de l'appareil, caractérise tous les outils à dents et ceux munis de carters ou de grilles ;
- > le frottement des mottes entre elles ou contre les pièces travaillantes réduit leur dimension et crée de la terre fine avec tous les outils ;
- > l'écrasement par des rouleaux et pneumatiques réduit également la dimension des mottes ;
- > le déplacement latéral par les outils à dents sépare en surface la terre fine des mottes ;
- > le déplacement vertical remonte les mottes sur la terre fine et caractérise les herse, cultivateurs et vibroculteurs ;
- > la projection réalisée par les cultivateurs rotatifs remonte également les mottes à la surface ;
- > le retournement en bloc du profil caractérise enfin les charrues.

● Les différents outils

Les différents outils de travail du sol présentés ci-dessous concernent autant les équipements motorisés que les équipements à traction animale. Cependant, si une gamme importante d'outils est à la disposition des utilisateurs de tracteurs, la variété d'outils disponibles en traction animale reste limitée à cause du faible niveau d'énergie que les animaux peuvent mettre en œuvre. Les deux types de matériels seront systématiquement présentés quand ils existent.

● Les décompacteurs

Les décompacteurs sont utilisés pour ameublir des horizons compactés, correspondant soit à la couche arable (pseudo-labour), soit à une couche de 10 cm sous le labour (décompactage).

La profondeur de travail varie ainsi de 35 à 60 cm en fonction de l'équipement utilisé :

- > décompacteur léger, dégagement sous bâti entre 60 et 75 cm (pseudo labour) ;
- > décompacteur lourd, dégagement sous bâti entre 75 et 110 cm (décompactage).

L'éclatement ne se produit que si le sol est à une consistance friable ou dure. Il est d'autant plus important que la dent et surtout le soc sont larges. Les dents de forme oblique ne bouleversent pas la surface du sol, ce qui permet de réaliser un semis directement après leur passage. Les dents des décompacteurs animés vibrent dans le sol, ce qui augmente l'éclatement.

Pour des sols moyens, avec un décompacteur de 3 corps, on estime qu'il faut pour le pseudo-labour, 0,8 h/ha pour un tracteur de 130 ch consommant 15 l/ha et pour le décompactage un temps identique avec un tracteur de 140 ch consommant 20 l/ha.

En traction animale, on utilise le terme improprement compte-tenu de la profondeur travaillée : 10-15cm. Cependant les outils utilisés ont la même action que les décompacteurs. L'outil de base est le *coutrier*, qui a fait l'objet de nombreuses copies dans les

pays où il est construit par les artisans locaux. Son utilisation en conditions sèches provoque un éclatement du sol favorisant l'infiltration de l'eau et limitant les risques d'érosion éolienne.

● **Les machines à bêcher**

La machine à bêcher est utilisée à la place de la charrue pour ameublir la couche arable dans les sols argileux à consistance semi-plastique, pour mieux utiliser la puissance du tracteur en supprimant l'effort de traction ou pour maîtriser le degré d'émiettement.

Ce sont des machines qui reproduisent l'action de l'homme qui bêche. Elles sont actionnées par la prise de force du tracteur. Les pièces travaillantes sont des bêches mises en mouvement par un système de bielle-manivelle. Le degré d'affinage s'ajuste en faisant varier la vitesse d'avancement et la vitesse de rotation des bêches.

Pour un sol moyen, avec un machine de 2,8 m de large, on estime qu'il faut 1,5 h/ha, pour un tracteur de 85 ch consommant 19 l/ha.

● **Les charrues**

Les charrues ameublissent, enfouissent et mélangent. Ce sont des outils complexes par leur mode d'action, leurs réglages et les nombreux équipements complémentaires qui influent sur le travail réalisé.

● **Les charrues à socs**

C'est un équipement très commun, dont les pièces travaillantes sont le soc qui découpe le sol et le versoir qui retourne le ruban découpé. Elles sont reliées au bâti ou âge par un étançon. Pour bien enfouir les débris végétaux, on utilise une rasette qui positionne en fond de raie la matière organique présente sur la surface interne de la bande labourée. On trouve différents types de versoirs et une variété importante d'équipements complémentaires : coutres, socs, rasettes, sécurités, talons.

Il existe des charrues réversibles avec lesquelles on réalise des labours à plat et des charrues simples avec lesquelles on réalise des labours en planche. Dans ce dernier cas, le travail est réalisé soit en adossant, soit en refendant.

Pour une terre moyenne, avec une charrue trisoc, on estime qu'il faut 1,8 h/ha pour un tracteur de 90 ch consommant 28 l/ha.

En traction animale, la charrue à soc est un outil assez répandu dans les zones où l'enherbement est un problème au moment de la mise en place des cultures : c'est la fonction nettoyage qui est alors prépondérante. Les charrues utilisées sont généralement des charrues simples, moins chères à l'achat. Elles sont tirées par une paire de bœufs ou plusieurs chevaux (en Afrique du Sud par exemple). Longtemps importées ou fournies par des entreprises industrielles locales, elles sont aujourd'hui fréquemment construites par les artisans locaux. On trouve également des éléments de charrue adaptables sur les multiculteurs⁸.

⁸ Les multiculteurs sont des outils polyvalents composés d'un bâti sur lequel peuvent se monter des éléments de reprises (cultivateur), des éléments de sarclage, souvent un corps buteur et quelquefois un corps de charrue. Il en existe pour tous les type de traction animale : traction asine, équine et bovine.

● **Les charrues à disques**

Elles sont équipées de disques de grand diamètre dont le plan est oblique par rapport à la surface du sol, ce qui permet un retournement de la terre. Elles étaient utilisées dans les sols caillouteux mais sont de plus en plus remplacées par des charrues à socs équipées de sécurités non-stop. On considère qu'elles émiettent fortement le sol et sont donc fortement déconseillées dans les régions où les risques de pluies violentes sont importants.

Pour un sol moyen avec une charrue à 4 disques, on estime qu'il faut 1,75 h/ha avec un tracteur de 90 ch consommant 26 l/ha.

● **Les cultivateurs à dents**

On regroupe sous ce nom des outils qui se différencient par leur dégagement sous bâti et par la forme de leurs dents. Les cultivateurs lourds sont adaptés au déchaumage ou au pseudo-labour, on les appelle dans ce cas des chisels. Les cultivateurs légers sont plutôt utilisés en préparation du lit de semence. Les dents peuvent être rigides ou souples. Les dents souples sont mieux adaptées au déchaumage et aux reprises superficielles. Les types de socs ainsi que les équipements complémentaires sont très variés : herses, bêches roulantes, cages roulantes.

Pour un sol moyen, on estime qu'il faut, avec un cultivateur lourd de 4 m de large, 0,5 h/ha pour déchaumer avec un tracteur de 100 ch consommant 10 l/ha et un temps identique pour effectuer un travail profond avec un tracteur de 110 ch consommant 11 l/ha.

En traction animale, les cultivateurs sont généralement des outils de reprise de labour ou de pseudo-labour. La plupart du temps ce sont des dents plates à ressort qui sont utilisées. En Afrique de l'Ouest, on les trouve souvent associés aux équipements de sarclage et de buttage. On les appelle alors des multicultureurs.

● **Les pulvérisateurs à disques**

Ce sont des outils équipés de trains de disques verticaux dont le plan est perpendiculaire au sol. Ils travaillent obliquement à l'avancement, comme les charrues à disques. Ils ont une action d'émiettement importante. Ils mélangent les débris végétaux à la terre et sont généralement employés pour les reprises de labour, le déchaumage ou pour la préparation du lit de semences. Ils regroupent des outils variés quant au nombre, à la disposition des disques ainsi qu'au poids par disque. Ainsi la gamme légère a un poids par disque inférieur à 60 kg, la gamme moyenne entre 60 et 80 kg et la gamme lourde plus de 80 kg. On trouve des disques lisses ou crénelés. Pour un sol moyen avec pulvérisateur de 3,5m, on estime qu'il faut 0,5 h/ha avec un tracteur de 110 ch consommant 12 l/ha.

En traction animale, il existe quelques matériels de ce type mais la faible vitesse des animaux limite leur effet et de ce fait leur intérêt.

● **Les bêches roulantes**

Elles sont composées d'un axe horizontal sur lequel sont fixées des bêches ou des dents qui sont mues par leur frottement au sol. On les utilise pour des déchaumages et des reprises de labour. En motorisation, elles sont généralement par deux, le premier

train entraînant le second. Pour un sol moyen avec un outil de 3 m de large, on estime qu'il faut 0,5 h/ha avec un tracteur de 100 ch consommant 9 l/ha.

En traction animale, certains outils ont utilisé ce principe : il s'agissait de *rotary hoe*, qui avait pour objectif de casser les grosses mottes après des labours en sec. Plus récemment, le CIRAD a mis au point un roliculteur dont l'objet était de remplacer le travail aux dents en façon superficielle dans les terres sableuses. Son prix, compte-tenu de l'environnement économique du moment, a limité sa diffusion.

● Les cultivateurs rotatifs

Ce sont des outils actionnés par la prise de force, utilisés quelquefois pour les préparations sans labour mais surtout pour les reprises ou déchaumage. Les puissances nécessaires à leur entraînement sont importantes. Le degré d'affinage est fonction de la vitesse de rotation des rotors et de celle du tracteur. On en trouve de deux types :

- > les cultivateurs rotatifs à axe vertical, composés de plusieurs *toupies* équipées de dents qui tournent autour d'un axe vertical. Elles sont souvent associées à un rouleau arrière qui, en plus de contrôler la profondeur de travail, participe à l'émiettement et au nivellement du sol. Pour un sol moyen avec un cultivateur rotatif de 3 m, on estime qu'il faut 1 h/ha, avec un tracteur de 125 ch consommant 22 l/ha pour un travail profond et 20 l/ha pour un travail superficiel ;
- > les cultivateurs rotatifs à axe horizontal⁹. Ils sont composés d'un rotor horizontal sur lequel sont fixées des dents de formes variables. Ils sont généralement utilisés pour des reprises ou des préparations de lit de semences. Ils sont souvent associés à des semoirs. Pour un sol moyen avec un cultivateur de 3 m de large, on estime qu'il faut 0,9 h/ha avec un tracteur de 130 ch consommant 17 l/ha.

● Les herses animées

Ce sont des outils de reprise superficielle. Elles sont donc utilisées pour parfaire le lit de semences et, de ce fait, souvent associées à un semoir. Elles sont toujours associées à un rouleau arrière qui permet de rasseoir le sol et de contrôler la profondeur avec précision. On en trouve deux types :

- > les herses alternatives qui comportent deux rangs de dents animés d'un mouvement alternatif. Elles sont mieux adaptées aux sols à comportement intermédiaire. Pour un sol moyen avec herse de 3 m combinée à un semoir, on estime qu'il faut 1 h/ha avec un tracteur de 90 ch consommant 9 l/ha.
- > les herses rotatives, dont la conception ressemble aux cultivateurs rotatifs à axe vertical. Elles peuvent travailler en terrain argileux. Pour un sol moyen avec herse de 3 m combinée à un semoir, on estime qu'il faut 0,9 h/ha avec un tracteur de 100 ch consommant 12 l/ha.

⁹ On les appelle aussi improprement rotavators.

● Les vibroculteurs

Ce sont des outils équipés de dents à ressorts qui sont bien adaptés à la reprise superficielle ou la préparation du lit de semence. Ils sont souvent équipés d'un rouleau arrière qui rappaie sur le sol et contrôle la profondeur. Pour un sol moyen avec un vibroculteur de 5 m de large, comportant 4 rangs de dents, on estime qu'il faut 0,3 h/ha avec un tracteur de 120 ch consommant 7 l/ha.

● Les herSES

Outils très classiques dont l'action est de trier les mottes de la terre fine, elles sont surtout utilisées pour la préparation du lit de semence. En motorisation, pour un sol moyen avec herse de 5 m de large, on estime qu'il faut 0,5 h/ha avec un tracteur de 100 ch consommant 7 l/ha. En traction animale, on trouve quelquefois des herSES qui servent à préparer le lit de semence quand il n'y a pas eu d'herbe enfouie au labour.

● Les rouleaux

Ce sont des équipements utilisés pour réduire la porosité du sol. Certains¹⁰ prolongent l'action des outils de préparation en émiettant la couche superficielle. En traction animale, les rouleaux sont peu utilisés en système traditionnel. En itinéraire de semis direct, le rouleau *couteaux* est employé pour détruite la couverture vivante avant le semis.

Bibliographie

- BAIZE D. JABIOL B., 1995. *Guide pour la description des sols*. INRA Editions, Paris, France, 375 p.
- BARTHELEMY P., BOIGONTIER D, LAJOUX P., 1991. *Choisir les outils de travail du sol*. ITCF, Paris, France, 196p.
- CHOPART J.L. 1985. *Développement racinaire de quelques espèces annuelles cultivées en Afrique de l'Ouest et résistance à la sécheresse en zone intertropicale*. In :«Pour une lutte intégrée contre la sécheresse”. CILF édit. Paris, p. 145-154.
- CHOPART J.L. 2001. *Comment évaluer in situ les racines des cultures ? Guide pratique de différentes méthodes d'étude racinaires*. Cédérom CIRAD 58 diapos.
- GAUTRONNEAU Y., MANICHON H., 1987. *Guide méthodique du profil cultural*. CEREF-ISARA, Lyon, France, 71 p.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969. *Le profil cultural*. Masson et Cie édit., Paris, 332p.
- LE THIEC G., 1996. *Agriculture africaine et traction animale*. Collection Techniques, CIRAD, Montpellier, France, 355 p.
- MICHAUX F., juin 1988. *Fertilité physique et travail du sol*. Chambre d'Agriculture de Rhône-Alpes, Lyon, France, classeur de fiches 101 p.
- PIROT R., 1998. *La motorisation dans les cultures tropicales*. Collection Techniques, CIRAD, Montpellier, France, 351 p.
- SOLTNER D. 1995. *Les bases de la production végétales (tomes I et II)*. Edition Sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemme-sur-Loire, France.